

MÔ PHỎNG DỰA TRÊN KỊCH BẢN VỀ ĐO CÔNG SUẤT BA PHA BẰNG MATLAB/SIMULINK CHO GIẢNG DẠY KỸ THUẬT ĐIỆN

SCENARIO-BASED SIMULATION OF THREE-PHASE POWER MEASUREMENT USING MATLAB/SIMULINK FOR ELECTRICAL ENGINEERING TEACHING

Lê Văn Thắng

ThS, Khoa Điện, Trường Trung cấp Kinh tế - Kỹ thuật Bắc Nghệ An

Received: 2/4/2026; Accepted: 15/4/2026; Published: 8/05/2026

Tóm tắt: Bài báo này trình bày một cách tiếp cận mô hình hóa và mô phỏng dựa trên kịch bản cho việc đo công suất ba pha bằng MATLAB/Simulink, nhằm nâng cao hiệu quả giảng dạy trong lĩnh vực kỹ thuật điện. Nghiên cứu khảo sát các phương pháp đo phổ biến, bao gồm phương pháp một, hai và ba Oatmet, dưới các điều kiện vận hành khác nhau như tải cân bằng và không cân bằng với cấu hình nối sao và tam giác. Các mô hình mô phỏng được xây dựng bằng các khối Simulink tiêu chuẩn nhằm tái hiện các hệ thống điện thực tế. Kết quả mô phỏng được phân tích để đánh giá độ chính xác, khả năng áp dụng và hạn chế của từng phương pháp trong các kịch bản khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy khung mô phỏng đề xuất không chỉ cung cấp cái nhìn rõ ràng về nguyên lý đo lường mà còn là một công cụ giảng dạy hiệu quả, hỗ trợ người học tiếp cận trực quan và hiểu sâu hơn về hệ thống điện ba pha.

Từ khóa: đo công suất ba pha, tải cân bằng và không cân bằng, Matlab/Simulink

Abstract: This paper presents a scenario-based modeling and simulation approach for three-phase power measurement using MATLAB/Simulink, aiming to enhance teaching effectiveness in electrical engineering education. The study investigates common measurement techniques, including one-wattmeter, two-wattmeter, and three-wattmeter methods, under various operating conditions such as balanced and unbalanced loads with both star and delta configurations. Simulation models are developed using standard Simulink blocks to replicate realistic electrical systems. The results are analyzed to evaluate the accuracy, applicability, and limitations of each method across different scenarios. The findings demonstrate that the proposed simulation framework not only provides clear insights into measurement principles but also serves as an effective educational tool to support intuitive learning and practical understanding of three-phase power systems.

Keywords: three-phase power measurement, Balanced and unbalanced load, Matlab/Simulink

1. Đặt vấn đề

Hệ thống điện ba pha giữ vai trò nền tảng trong truyền tải và phân phối điện năng nhờ khả năng cung cấp công suất lớn, hiệu suất cao và vận hành ổn định. Trong bối cảnh đó, việc đo lường chính xác công suất trong mạch điện ba pha là yêu cầu thiết yếu nhằm phục vụ công tác vận hành, giám sát, đánh giá hiệu quả năng lượng cũng như đảm bảo an toàn cho thiết bị điện. Trên thực tế, nhiều phương pháp đo công suất đã được giới thiệu [1, 2, 3], trong đó phổ biến nhất là các phương pháp một, hai và ba Oatmet [2, 4]. Tuy nhiên, mỗi phương pháp đều có những điều kiện áp dụng, ưu điểm và hạn chế riêng, phụ thuộc vào đặc tính của hệ thống như loại tải (cân bằng hoặc không cân bằng) và cấu hình nối (sao hoặc tam giác).

Trong giảng dạy kỹ thuật điện, các nội dung liên quan đến đo công suất ba pha thường mang tính trừu tượng, đòi hỏi người học phải nắm vững cả cơ sở lý thuyết lẫn khả năng hình dung các sơ đồ đo trong những điều kiện vận hành khác nhau. Điều này đặt ra yêu cầu cần có các công cụ hỗ trợ trực quan, giúp người học dễ dàng tiếp cận và hiểu

sâu bản chất của các phương pháp đo lường.

Sự phát triển của các phần mềm mô phỏng, đặc biệt là MATLAB/Simulink, đã mở ra khả năng xây dựng các mô hình hệ thống điện với mức độ linh hoạt và trực quan cao. Thông qua mô phỏng, người học có thể quan sát trực tiếp các đại lượng điện, kiểm chứng các công thức lý thuyết và phân tích ảnh hưởng của các yếu tố như hệ số công suất, sự mất cân bằng tải hay cấu hình mạch đến kết quả đo công suất.

Xuất phát từ những yêu cầu trên, bài báo này đề xuất cách tiếp cận mô phỏng dựa trên kịch bản nhằm khảo sát các tình huống điển hình trong đo công suất mạch điện ba pha bằng MATLAB/Simulink. Các kịch bản được xây dựng tương ứng với các điều kiện vận hành khác nhau, từ đó tiến hành phân tích, so sánh và đánh giá các phương pháp đo. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần làm rõ bản chất các phương pháp đo công suất mà còn cung cấp một công cụ hỗ trợ hiệu quả cho hoạt động giảng dạy và học tập trong lĩnh vực kỹ thuật điện.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết và mô phỏng đo công suất

trên Matlab/Simulink

Công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha được xác định như là giá trị trung bình của công suất trong một chu kỳ T.

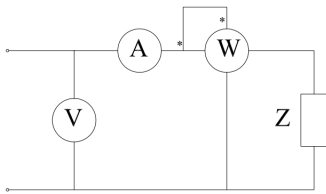
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u i dt$$

Trong đó p, u, i là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng điện.

Khi u, i là điện áp, dòng điện xoay chiều thì giá trị công suất: $P = UI \cos \varphi$

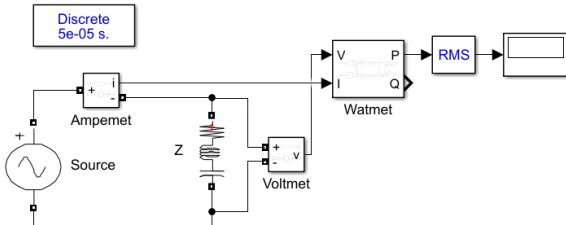
φ là góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp.

Để đo công suất sử dụng Oatmet lấy dữ liệu dòng điện, điện áp (hình 1).



Hình 1. Sơ đồ đo công suất

Từ sơ đồ nguyên lý đo công suất, sơ đồ đo công suất tác dụng một pha trên Matlab/Simulink thể hiện trên hình 2 với khối Power Measurement thay thế cho Oatmet, lấy tín hiệu dòng điện qua khối Ampemet và điện áp qua Vônmet.



Hình 2. Sơ đồ mô phỏng đo công suất một pha trên Matlab/Simulink.

Các khối mô phỏng sử dụng trong mô hình Matlab/Simulink giới thiệu trong bảng 1.

Bảng 1. Các khối mô phỏng sử dụng trong mô hình Matlab/Simulink.

Khối	Chức năng
Source	Nguồn một pha
Series RLC branch	Tải R-L-C
Power Measurement	Oatmet
Current Measurement	Ampemet
Voltage Measurement	Vônmet
RMS	Khối đo giá trị hiệu dụng
Scope	Máy hiện sóng

2.2. Mô phỏng đo công suất mạch điện ba pha theo các kịch bản khác nhau trên Matlab/Simulink

Đối với sơ đồ mạch điện ba pha, xét theo các trường hợp vận hành mà có các sơ đồ đo phù hợp.

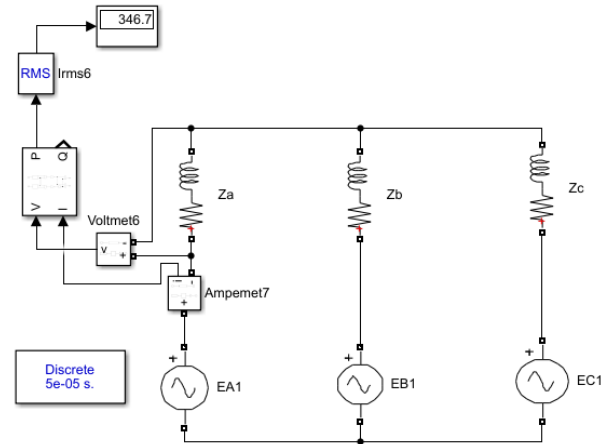
Trường hợp 1: Mạch điện ba pha đối xứng, tải nối sao.

Xét mạch điện ba pha đối xứng có $E_p = 220V$, tải

nối sao có $R = 100\Omega$, $L = 0,2H$.

Do mạch điện ba pha đối xứng nên công suất trên mỗi pha bằng nhau nên chỉ cần sử dụng một Oatmet (hình 3) cho một pha, chẳng hạn pha A. Công suất tải 3 pha được tính:

$$P = 3 \cdot P_A$$

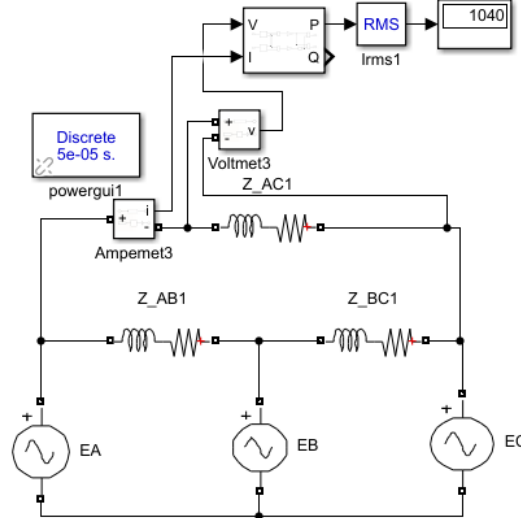


Hình 3. Sơ đồ và kết quả đo công suất mạch ba pha đối xứng tải nối sao trên Matlab/Simulink.

Kết quả mô phỏng cho thấy công suất trên pha A là 346,7W nên công suất tải là $P = 3 \cdot 346,7 = 1040,1W$.

Trường hợp 2: Mạch điện ba pha đối xứng, tải nối tam giác.

Xét mạch điện ba pha đối xứng có $E_p = 220V$, tải nối tam giác có $R = 100\Omega$, $L = 0,2H$.



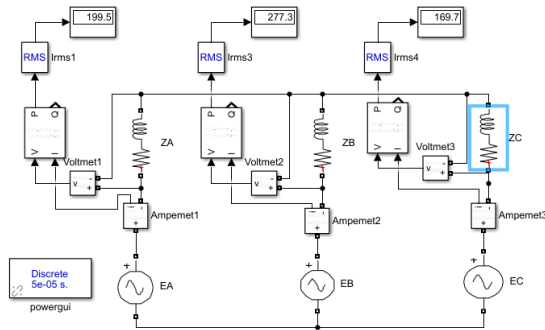
Hình 4. Sơ đồ và kết quả đo công suất mạch ba pha đối xứng tải nối tam giác trên Matlab/Simulink.

Trường hợp 3: Mạch điện ba pha có tải nối sao không đối xứng.

Xét mạch điện có nguồn ba pha đối xứng có $E_p = 220V$, tải nối sao không đối xứng có $R_A = 100\Omega$, $L_A = 0,2H$; $R_B = 200\Omega$, $L_B = 0,2H$; $R_C = 300\Omega$, $L_C = 0,5H$.

*Phương án sử dụng 3 Oatmet:

Sử dụng mỗi Oatmet đo công suất cho mỗi pha, công suất tải chính là tổng công suất 3 pha.

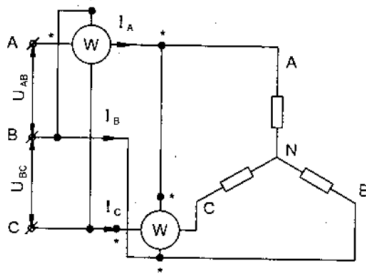


Hình 5. Sơ đồ và kết quả đo công suất trên Matlab/Simulink sử dụng 3 Oatmet cho tải nổi sao.

Từ kết quả mô phỏng, công suất trên mỗi pha: $P_A = 199,5W$; $P_B = 277,3W$; $P_C = 169,7W$. Do đó: $P = P_A + P_B + P_C = 646,5W$

***Phương án sử dụng 2 Oatmet:**

Sử dụng 2 Oatmet nhưng thay vì lấy điện áp pha lại sử dụng điện áp dây: U_{AC} và U_{BC} (hình 6).



Hình 6. Sơ đồ sử dụng 2 Oatmet [2].

Tổng công suất trên 2 Oatmet chính là công suất tải ba pha được chứng minh như sau:

Công suất tải: $P_L = u_{AN}i_A + u_{BN}i_B + u_{CN}i_C$

Công suất đo:

$$P = i_A u_{AC} + i_B u_{BC} = i_A (u_{AN} - u_{CN}) + i_B (u_{BN} - u_{CN})$$

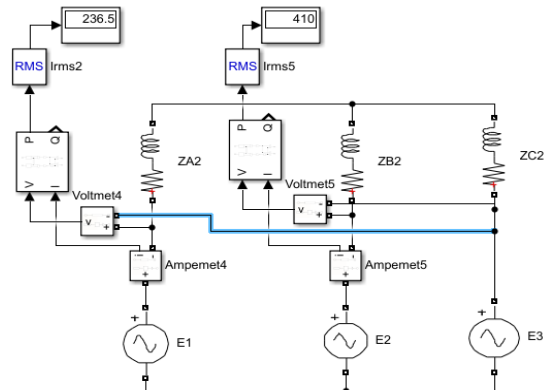
$$= u_{AN}i_A + u_{BN}i_B - u_{CN}(i_A + i_B)$$

Do $i_A + i_B + i_C = 0$ nên: $i_C = -(i_A + i_B)$

$$P = u_{AN}i_A + u_{BN}i_B - u_{CN}(i_A + i_B)$$

$$= u_{AN}i_A + u_{BN}i_B + u_{CN}i_C = P_L$$

Như vậy, tổng công suất hai Oatmet là công suất tải trên ba pha. Sơ đồ mô phỏng sử dụng đo công suất bằng 2 Oatmet thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Sơ đồ và kết quả đo công suất trên Matlab/Simulink sử dụng 2 Oatmet cho tải nổi sao.

Từ kết quả mô phỏng, công suất trên 2 Oatmet:

$P_{AC} = 236,5W$; $P_{BC} = 410W$. Tính được:

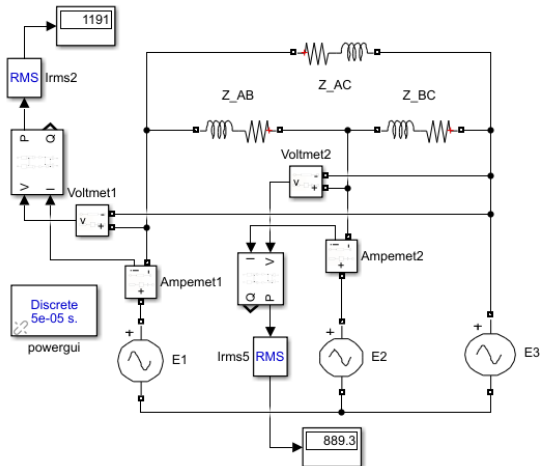
$$P = P_{AC} + P_{BC} = 646,5W$$

Kết quả này phù hợp với sơ đồ sử dụng 3 Oatmet.

Trường hợp 4: Mạch điện ba pha có tải nổi tam giác không đối xứng.

Xét mạch điện có nguồn ba pha đối xứng có $E_p = 220V$, tải nổi tam giác không đối xứng có $R_{AC} = 100\Omega$, $L_{AC} = 0,2H$; $R_{AB} = 200\Omega$, $L_{AB} = 0,2H$; $R_{BC} = 300\Omega$, $L_{BC} = 0,5H$.

Do sơ đồ tam giác không có điểm trung tính nên không sử dụng sơ đồ đo công suất cho từng pha nên sơ đồ 3 Oatmet không sử dụng được. Sơ đồ mô phỏng đo công suất sử dụng 2 Oatmet thể hiện trên hình 8.



Hình 8. Sơ đồ và kết quả đo công suất trên Matlab/Simulink sử dụng 2 Oatmet cho tải nổi tam giác.

Từ kết quả mô phỏng, công suất trên 2 Oatmet:

$P_{AC} = 1191W$; $P_{BC} = 889,3W$. Tính được:

$$P = P_{AC} + P_{BC} = 2080,3W$$

3. Kết luận: Bài báo đã xây dựng và mô phỏng các phương pháp đo công suất trong mạch điện ba pha bằng công cụ Matlab/Simulink, áp dụng cho các cấu hình tải cân bằng và không cân bằng, nổi sao và nổi tam giác. Thông qua các kịch bản mô phỏng cụ thể, đã chứng minh được tính chính xác, sự phù hợp của từng phương pháp đo trong từng điều kiện vận hành khác nhau. Kết quả cho thấy công cụ mô phỏng không chỉ hỗ trợ hiệu quả trong giảng dạy mà còn là phương tiện hữu ích để khảo sát, phân tích và lựa chọn phương pháp đo công suất phù hợp trong thực tiễn kỹ thuật điện.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Văn Hòa, Bùi Đăng Thành, Hoàng Sỹ Hồng (2017). *Giáo trình Đo lường điện và cảm biến đo lường*. NXB Giáo dục.
- [2]. Nguyễn Văn Hòa (2021). *Giáo trình Đo lường các đại lượng điện và không điện*, NXB Giáo dục.
- [3]. Lê Chí Kiên (2013). *Giáo trình đo lường cảm biến*. NXB Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2013.